

# PRZEDŁUŻENIE EKSPLOATACJI ELEKTROWNI JĄDROWEJ PICKERING W KANADZIE

## *Ontario, Canada: Pickering NGS extended operations*

Dariusz Witold Kulczyński

**Streszczenie:** W artykule omówiono przyszłość elektrowni jądrowej Pickering, najstarszej elektrowni jądrowej w Kanadzie, której w sierpniu 2018 r. Kanadyjski Urząd Dozoru Jądrowego (CNSC) udzielił zezwolenia na eksploatację do końca 2024 r. Przedstawiono także skróconą historię energetyki jądrowej w prowincji Ontario i wnioski, które mogą być przydatne dla Polski.

**Abstract** The article discusses the future of Pickering NGS, the oldest nuclear power plant in Canada. In August, 2018, the Canadian Nuclear Safety Commission – CNSC issued a new operating licence for Pickering Nuclear to run until 2024. The article includes condensed history of nuclear power in Ontario and presents conclusions that may be useful for Poland.

**Słowa kluczowe:** System CANDU, PHWR, rury ciśnieniowe, wiązki paliwowe, Calandria, basen składowania wypalonego paliwa, wycofanie z eksploatacji, stan bezpiecznego składowania, reorganizacja, optymalizacja obiektów jądrowych, NAOP, otwarcie rynku elektryczności, wypadnięcie z synchronizmu, Big Blackout, zielona energetyka, wzrost cen.

**Keywords:** CANDU system, PHWR, Pressure Tubes, Fuel Bundles, Spent Fuel Bay, decommissioning, safe storage, reorganization, Nuclear Asset Optimization Plan, NAOP, Electricity Market Opening, loss of synchronism, Big Blackout, green energy, electricity rate increase.

### Przedłużenie okresu eksploatacji elektrowni jądrowej

Latem 2018 r. Kanadyjski Urząd Dozoru Jądrowego Canadian Nuclear Safety Commission – CNSC wydał zezwolenie na przedłużenie eksploatacji najstarszej elektrowni jądrowej w Kanadzie do końca 2024 r. Elektrownia jądrowa (EJ) Pickering wyposażona obecnie w sześć bloków o łącznej mocy około 3000 MWe położona w odległości 45 km od Toronto zaspokajając około 14% zapotrzebowania na energię elektryczną w prowincji Ontario. Elektrownia miała być zamknięta już w 2020 r., ale nowo uzyskane zezwolenie pozwala na jej

eksploatację do końca 2024 r. Elektrownia ta osiągała w ostatnich latach bardzo dobre wyniki eksploatacyjne; w 2017 r. blok nr 1 zakończył cykl pracy po 622 dniach bez wyłączenia, a blok nr 5 aż po 632 dniach, a współczynnik wyłączeń wymuszonych był najniższy od czasu uruchomienia elektrowni. W tym czasie osiągnięto 11 mln roboczogodzin bez wypadku powodującego nieobecność w pracy i niezwykle niski współczynnik wszystkich uszkodzeń ciała (0,06 w skali umownej). EJ Pickering uzyskała dwukrotnie najwyższą ocenę dozoru (CNSC) w 14. dziedzinach kontrolnych.



Fot. 1. EJ Pickering w prowincji Ontario, Kanada  
Photo 1. Pickering NGS, Ontario, Canada

W 2016 r. wszystkie elektrownie jądrowe zaspokajały 61% zapotrzebowania energii w prowincji Ontario ale obecnie udział ten w bilansie energetycznym spada. Trwa remont kapitalny bloku nr 2 w EJ Darlington (4 bloki po 880 MWe netto), a remont następných zakończy się dopiero w 2026 r. Za dwa lata zostanie wyłączony pierwszy z sześciu przewidzianych do remontu kapitalnego bloków w EJ Bruce (4 bloki po 750 MWe i 4 bloki po 800 MWe netto). Poprzedni rząd prowincji Ontario zrezygnował z budowy nowych bloków jądrowych, natomiast zatwierdził remonty kapitalne EJ Darlington i Bruce oraz przedłużenie eksploatacji EJ Pickering. Z raportu ekonomicznego niezależnych konsultantów wynika, że dalsza praca 6. bloków w EJ Pickering to dodatkowe 1,54 mld C\$ w produkcie prowincji brutto, to 7590 pełnoetatowych miejsc pracy (dostawcy, kooperanci, personel techniczny i operacyjny) oraz 290 mln C\$ wpływów podatkowych. Podstawowym powodem przedłużenia okresu eksploatacji EJ Pickering jest zapotrzebowanie mocy w okresie remontów kapitalnych nowszych bloków jądrowych.

### Dalsze losy EJ Pickering

W wybudowanej i uruchomionej w latach 1965-1973 EJ Pickering A (4 bloki po 542 MWe brutto) eksploatowane są obecnie tylko bloki nr 1 i 4. Wymieniono w nich rury ciśnieniowe wykonane ze stopu cyrkonu i niobu w latach 1991-1993. Pracowały więc one prawie 10 lat krócej niż rury zainstalowane w blokach nr 5, 6, 7 i 8 (EJ Pickering B) uruchomionych w latach 1983-1985. To, które bloki zostaną wycofane z eksploatacji najwcześniej zależeć będzie od stanu technicznego przede wszystkim rur ciśnieniowych reaktora (390 poziomych kanałów paliwowych), rur doprowadzających i odprowadzających wodę oraz wytwornic pary (w liczbie 12 sztuk na jeden blok). Utrzymanie w eksploatacji części B EJ Pickering wymaga działania pewnych systemów, które znajdują się w części A elektrowni.



**Fot 2.** Widok EJ Pickering A (bloki nr 1 do 4) z budynkiem lokalizacji awarii tzw. budynkiem próżniowym na pierwszym planie  
**Photo 2.** View of NGS Pickering A (units 1-4) and Vacuum Building in the front

Zezwolenie dozoru (CNSC) na eksploatację (*Power Reactor Operating Licence*) upoważnia firmę Ontario Power Generation (OPG) do utrzymania w eksploatacji bloków nr 5, 6, 7 i 8 do łącznej liczby 295 tysięcy godzin pracy na pełnej mocy. Oznaczałoby to około 8,5 roku pracy na każdy blok, ale na dziś w planie przewiduje

się wyłączenie na stałe dwóch bloków w 2022 r., a pozostałych czterech w 2024 r. Wycofywanie EJ Pickering z eksploatacji obejmuje kilka faz. Do 2028 r. osiągnięty zostanie stan bezpiecznego składowania przez usunięcie paliwa z reaktorów oraz spuszczenie ciężkiej wody i płynów roboczych z większości systemów. Następnie niektóre urządzenia zostaną zdemontowane i odkażone. W ciągu 13 lat całe wypalone paliwo zostanie usunięte z basenów przechowawczych do suchych przechowalników, a po dalszych 30. latach zużyte elementy paliwowe zostaną wywiezione do podziemnych składowisk stałych. W ciągu 40. lat nastąpi rekultywacja terenu; a wszystkie budynki i urządzenia zostaną zburzone lub rozmontowane.

### System CANDU na przykładzie EJ Pickering

Kanadyjskie reaktory ciśnieniowe chłodzone i moderowane ciężką wodą typu *CANDU* (*Canada-Deuterium-Uranium*) albo *PHWR* (*Pressurized Heavy Water Reactor*) wyposażone są w poziome kanały paliwowe umieszczone w dużym, poziomym, cylindrycznym zbiorniku zwanym Calandią wypełnionym ciężkowodnym moderatorem. W kanałach znajduje się (w przypadku Pickering) po 12 wiązek paliwowych. Nowe, 28. elementowe wiązki zawierają uran naturalny (0,7% U235) w postaci pastylek  $UO_2$  umieszczonych w cyrkonowych otoczkach (koszulkach). W tym paliwie wytwarza się pluton (Pu239), który stanowi też materiał rozszczepialny (bierze udział w reakcji łańcuchowej). Podczas normalnej pracy bloku pracują maszyny przeładowcze, które usuwają zużyte wiązki do basenów przechowywania wypalonego paliwa i na ich miejsce wprowadzają nowe wiązki. Komputerowe sterowanie maszynami przeładowczymi zostało wprowadzone już w pierwszej elektrowni jądrowej tego typu (konkretnie w prototypowej elektrowni Nuclear Power Demonstration) w 1967 r. Dwa minikomputery PDP-8 firmy DEC stanowiły pierwsze na świecie zastosowanie maszyn cyfrowych do sterowania procesem technologicznym w energetyce jądrowej.



**Fot. 3.** Wiązka paliwowa reaktora typu CANDU  
**Photo 3.** CANDU Fuel Bundle



Fot. 4. Basen przechowawczy wypalonego paliwa  
Photo 4. Spent Fuel Bay

Moc reaktorów CANDU jest regulowana przez dwa komputery (jeden pracuje, a drugi pozostaje w rezerwie), które zmieniają poziom lekkiej wody w każdej z 14. pionowych rur przechodzących przez zbiornik Calandrii, są tzw. strefy sterownicze LZC (*Liquid Zone Control*). Wysokość słupa zwykłej wody ( $H_2O$ ) w każdej z nich decyduje o mniejszym lub większym pochłanianiu neutronów. Oprócz regulacji mocy, LZC służą do spłaszczania strumienia neutronów, co jest konieczne dla prawidłowego wypalania elementów paliowych w całym rdzeniu. Strefy LZC współpracują w tej dziedzinie z dodatkowymi prętami regulacyjnymi (*Adjuster Rods*), których w reaktorach Pickering A jest po 18, a w Pickering B po 21 sztuk na reaktor. Te kobaltowe lub stalowe pręty służą także do uzyskiwania dodatkowej reaktywności przez wyciąganie ich z rdzenia, jeżeli reaktor ma zostać uruchomiony wkrótce po nieplanowanym wyłączeniu i trzeba zmniejszyć wychwyty neutronów przez obecną w rdzeniu truciznę jaką jest ksenon, jeden z produktów procesu rozszczepienia.

### Bezpieczeństwo eksploatacji

Reaktory CANDU wyposażone są w szereg systemów bezpieczeństwa. Jeden z nich dotyczy stwierdzenia szczelności rur ciśnieniowych, które przebywając w strumieniu neutronowym zwiększają swoją długość. Ważne jest, czy pod wpływem ciśnienia nie powstają w nich mikroskopijne pęknięcia lub pęcherze wokół odkładających się wodorków metali, które mogą powodować utratę ich szczelności. W tym celu zamontowano higrometry badające gaz w przestrzeni pierścieniowej ograniczonej przez rury ciśnieniowe i rury Calandrii pod kątem wycieku z pierwotnego systemu chłodzenia. Podczas planowych przestoju dodatkowo bada się rury w niektórych kanałach. Wymagane to jest przez CNSC przy wydawaniu zezwolenia na utrzymanie w ruchu bloków w elektrowni Pickering.

Reaktory w elektrowni Pickering A posiadają tylko jeden szybki system wyłączania awaryjnego (11 prętów wykonanych z kadmu i stali nierdzewnej). Drugi system awaryjnego wyłączania polega na zrzucie ciężkowodnego moderatora z Calandrii do zbiornika pod reaktorem. Zrzut taki wstrzymuje reakcję łańcuchową i odbywa się przez wyrównanie ciśnienia helu nad poziomem moderatora w Calandrii i w zbiorniku zrzutowym za pomocą otwierania odpowiednich zaworów zgrupowa-

nych po dwa w trzech kanałach i działających w logice 2-z-3. W nowszych blokach CANDU zrezygnowano ze zbiornika zrzutowego moderatora, gdyż obliczono, że przy tak wielkiej masie ciężkiej wody ten system wyłączania awaryjnego nie jest dostatecznie szybki w działaniu. Reaktory w elektrowni Pickering B oprócz 28 prętów awaryjnych wyposażone są w drugi, niezależny system wyłączania polegający na wtrysku pochłaniacza neutronów (azotanu gadolinu) do moderatora. Awaryjne wychłodzenie rdzenia odbywa się przez wysokociśnieniowy wtrysk lekkiej wody do obiegu chłodzenia i niskociśnieniowe pompowanie z powrotem do systemu wody z odzysku. Lokalizację awarii i skażeń zapewnia betonowy budynek próżniowy (*Vacuum Building*) - znany w Polsce z czasów budowy EJ Żarnowiec pod nazwą wieża lokalizacji awarii - podłączony do osłon obudów bezpieczeństwa wszystkich ośmiu reaktorów (zob. fot. 2)

Warto wspomnieć, że z punktu widzenia fizyki reaktorowej jednostki w EJ Pickering A mają największy zapas bezpieczeństwa ze wszystkich reaktorów CANDU, największy w stosunku do rejonu stopienia paliwa i natychmiastowej krytyczności w przypadku dużej utraty chłodziwa. Reaktory w EJ Pickering B mają zapas bezpieczeństwa trochę mniejszy niż reaktory CANDU-6 (moc 700 MWe) w EJ Cernavodă w Rumunii, minimalnie większy niż reaktory w EJ Darlington i sporo większy niż w EJ Bruce.

Przed rozpatrzeniem podania właściciela elektrowni - Ontario Power Generation (OPG) - o nowe zezwolenie na eksploatację EJ Pickering dozór jądrowy CNSC zarządził wysłuchania publiczne. Dostarczone dokumenty przez firmę OPG uwiarygodniły wyniki przeglądu bezpieczeństwa jądrowego, program ograniczenia starzenia się obiektu i plany wdrożenia wymaganych modyfikacji. Poza tym OPG gwarantuje, że:

1. Bezpieczeństwo jądrowe będzie zapewnione, tak dla personelu elektrowni jądrowej, jak i mieszkańców, a środowisko naturalne będzie odpowiednio chronione.
2. Stan systemów, struktur i urządzeń EJ Pickering jest wystarczająco dobry do wytwarzania energii elektrycznej do 2024 r. i ten stan będzie utrzymany przez program inspekcji w całym okresie eksploatacji.
3. Elektrownia posiada kompetentny, zaangażowany i sumienny personel oraz odpowiednia liczba pracowników będzie utrzymana w całym okresie eksploatacji.
4. Skutki uboczne pracy elektrowni w odniesieniu do mieszkańców, pracowników i środowiska pozostaną w kategorii niskiego ryzyka i będą minimalizowane przy jednoczesnych korzyściach dla środowiska i społeczeństwa.
5. OPG zapewni przejrzystość działania i odpowiednie zaangażowanie mieszkańców i ludności autochtonicznej.
6. OPG zapewni nakłady finansowe w celu osiągnięcia powyższych celów, w tym dalszego podnoszenia



niezawodności i bezpieczeństwa jądrowego.

### Organizacja i wyniki eksploatacyjne

Osiąganiu dobrych wyników eksploatacyjnych nawet stosunkowo starych i dość skomplikowanych elektrowni jądrowych sprzyja stabilność zatrudnienia oraz przejrzystość celów zarządu. Struktura organizacyjna wieloblokowych elektrowni z bokami CANDU w Ontario jest inna niż bloków CANDU-6 za granicą. Elektrownie jądrowe w Cernavodă (Rumunia), w Embalse (Argentyna), w Wolsong (Korea Płd.), w Qinshan (Chiny), elektrownie ciężkowodne w Indiach czy w Pakistanie mają własne, sprawdzone struktury organizacyjne, które dobrze im służą. We wszystkich tych krajach elektrownie jądrowe traktuje się jako ważne źródło stosunkowo niedrogiej energii. Stabilność i dobre wyniki w państwowych elektrowniach jądrowych w Ontario są dorobkiem ostatnich lat po zakończeniu wyczerpujących reorganizacji.

### Ontario Hydro według neosocjalistów

Problem energetyki jądrowej w Ontario polegał na przekonaniu polityków, że należy ją sprywatyzować i to przyniesie wiele korzyści. Rządzący prowincją naiwnie uwierzyli samozwańczym „cudotwórcom”, którzy za duże pieniądze i rozgłos zaoferowali podnieść wyniki eksploatacyjne i rentowność państwowej firmy energetycznej Ontario Hydro (OH). Firma oferowała jedne z najniższych cen energii elektrycznej w Ameryce Północnej, po kosztach wytwarzania. Pierwszy „gwóźdź do trumny” energetyki w Ontario wbił w 1992 r. rząd neosocjalistyczny (NDP<sup>1</sup>). Powołany przez niego prezes OH zamroził sztucznie ceny za kWh energii elektrycznej, odwołał remont kapitalny bloków nr 1 i 2 w EJ Bruce i zwolnił 30% personelu. Dokonano reorganizacji całej energetyki, przygotowując Ontario Hydro do prywatyzacji. W efekcie dwa bloki o mocy 800 MWe EJ Bruce nr 1 i 2 zostały odstawione na 15 i 17 lat i wyremontowano je dopiero po prywatyzacji elektrowni. Biorąc pod uwagę gwarantowaną cenę energii dla producentów prywatnych (wyższą niż cena prądu z państwowej wciąż firmy OPG), opóźniony o wiele lat remont bloków nr 1 i 2 w EJ Bruce A kosztował kilka razy więcej niż gdyby go rozpoczęto w 1993 r. i sfinansowano niewielkimi podwyżkami ceny energii elektrycznej. Co więcej, większość zwolnionych pracowników okazała się niezbędna i wróciła do Ontario Hydro zwykle jako zewnętrzni kontraktorzy, co kosztowało więcej niż gdyby ich przyjęto na etat.

### Energetyka jądrowa według neokonserwatystów

Firma Ontario Hydro została ostatecznie rozwiązana w 1999 r. pod rządami ontaryjskich neokonserwatystów

(PC<sup>2</sup>). W 1997 r. częścią jądrową Ontario Hydro zaczęli zarządzać sprowadzeni za miliony dolarów konsultanci. Amerykańscy eksperci znali się na reaktorach typu PWR, ale nie mieli żadnego doświadczenia z kanadyjską technologią CANDU. Bardzo szybko ogłosili diagnozę, że firma nie ma problemów technicznych tylko problemy zarządzania, konieczna jest kolejna reorganizacja i szereg innych działań w ramach planu optymalizacji obiektów jądrowych NAOP (Nuclear Asset Optimization Plan). Rząd Ontario dążył do „otwarcia rynku elektryczności” i od 1 maja 2002 r. bloki energetyczne miały być włączane i wyłączane zgodnie z ceną oferowaną na giełdzie energii. W przygotowaniu do manipulacji popytem i podażą już 31 grudnia 1997 r. odstawiono wszystkie cztery bloki w elektrowni Pickering A. Reaktory te, mające tylko jeden szybki system wyłączania awaryjnego, wymagały pewnych modyfikacji. Przed rokiem 1997, Ontario Hydro planowało je instalować blok po bloku bez odstawiania wszystkich czterech. W 1998 r. wyłączono też kolejne dwa, w pełni sprawne, bloki nr 3 i 4 we wciąż państwowej EJ Bruce. Wyłączenie sześciu (6) sprawnych bloków jądrowych eksperci uzasadniali koniecznością wykorzystania uwolnionego w ten sposób personelu do poprawy wyników eksploatacyjnych pozostających w ruchu bloków jądrowych. Dopiero, kiedy wydajność organizacji i współczynniki wykorzystania mocy zainstalowanej osiągną odpowiednio wysokie wartości, miała być podjęta decyzja, czy dwa bloki w EJ Bruce i cztery bloki w EJ Pickering A będą ponownie uruchomione.

Powyższy program naprawczy w praktyce polegał na zatrudnieniu personelu fachowego i inżynierskiego przy pisaniu tomów nowych, skrajnie sformalizowanych instrukcji. Zatrudniono też dziesiątki zagranicznych konsultantów. Wskutek odstawienia 6. bloków jądrowych z poważnego eksportera Ontario stało się importerem elektryczności.

### Wolny rynek energii w Ontario i jego skutki

Wskutek wysokiego popytu i niskiej podaży, w trzy miesiące po otwarciu rynku ceny prądu w Ontario wzrosły o 100% i rząd w popłochu przywrócił regulację cen elektryczności. Po prywatyzacji EJ Bruce i przypisaniu EJ Darlington i EJ Pickering do nowej państwowej firmy Ontario Power Generation Inc. zapadła decyzja o uruchomieniu odstawionych bloków jądrowych. Przy próbie rozruchu eksperci odkryli, że wieloletni przestój i nowa struktura organizacyjna, w której zabrakło wielu najlepszych rodzimych specjalistów, źle się przysłużyły EJ Pickering A. Jedyne jej bloki (P4) uruchomiono dopiero 20 września 2003 r. zużywając cały budżet przewidziany na uruchomienie wszystkich czterech bloków. W 2003 r. uruchomiono także blok nr 4 w EJ Bruce.

Mocy w systemie energetycznym Ontario było wciąż za mało. Upalnego dnia 14 sierpnia 2003 r. wsku-

tek awarii wyłączyły się linie przesyłowe, którymi z USA do Ontario płynęło 2400 MW, czyli około 10% zapotrzebowania w szczycie. Prawie wszystkie bloki energetyczne w Ontario wypadły z synchronizmu i zostały wyłączone dzieląc los generatorów we wschodnich stanach amerykańskich dotkniętych przez tzw. „Big Blackout”. Wprawdzie trzem blokom w EJ Bruce B udało się pozostać w ruchu, ale światło w Toronto i w innych miastach zgasiło na co najmniej dobę. W październikowych wyborach tegoż roku w Ontario rząd neokonserwatywny PC stracił władzę na rzecz Partii Liberalnej<sup>3</sup>.

### Sześć bloków w EJ Pickering i zielona energetyka

Blok nr 1 w EJ Pickering A został zsynchronizowany z siecią dopiero w 2005 r., a koszty uruchomienia bloków nr 2 i 3 sugerowały, że taniej będzie wybudować dwa nowe i większe bloki w EJ Darlington B). Na skutek krachu giełdowego (2008), recesji i spadku zużycia energii, rząd liberalny zrezygnował z nowych bloków jądrowych i z remontu kapitalnego EJ Pickering B. W ten sposób w 8-blokowej elektrowni jądrowej Pickering pozostało w ruchu 6 bloków, które będą jeszcze pracować tylko przez kilka lat.

Liberałowie zaczęli masowo instalować w prowincji Ontario prywatne baterie słoneczne, wiatraki energetyczne, zatwierdzać bloki opalane gazem potrzebne do ich wspomagania i płacić za tę „zieloną energię” kilka lub kilkanaście razy więcej niż za 1 kWh pochodzącą z elektrowni jądrowych. Trwająca prawie ćwierć wieku manipulacja losiem tych elektrowni doprowadziła do strat rzędu dziesiątków mld dolarów i bezprecedensowego wzrostu cen elektryczności. W 1992 r. cena 1 kWh w prowincji Ontario była jedną z najniższych w Ameryce Północnej, dziś jest jedną z najwyższych.

### Struktura organizacyjna polskiej energetyki jądrowej

Czy przymierzająca się do budowy elektrowni jądrowych Polska może skorzystać z doświadczeń Ontario? Przede wszystkim należy ustalić, czy elektrownie jądrowe mają być państwowe, czy prywatne i tej decyzji nie zmieniać. Polska energetyka konwencjonalna ma sprawdzoną organizację ruch-remont-personel techniczny i inżynierski. Warto wykorzystać własne doświadczenia i tylko dodać odpowiednie oddziały według najlepszych wzorów firm eksploatujących wybraną przez Polskę technologię jądrową. Należy pamiętać, że każda struktura organizacyjna będzie działała pod warunkiem, że jest obsadzona kompetentnymi pracownikami, którzy wiedzą co mają robić. Chociaż od czasu do czasu funkcjonalność organizacji można poprawić powinny to być działania wewnętrzne ludzi dobrze znających technologię konkretnych elektrowni jądrowych, którzy

w nich pracują. Należy się wystrzeżać „ekspertów”, także tych ze znanych firm konsultingowych, oferujących reorganizację energetyki.

[Zdjęcia elektrowni udostępnione przez OPG i Dr Barbarę Sawicką d. AECL  
Power Plant pictures courtesy of OPG and Dr. Barbara Sawicka, AECL ret.]

<sup>1</sup> NDP – New Democratic Party [of Ontario] - partia neosocjalistyczna

<sup>2</sup> PC – Progressive Conservative Party [of Ontario] - partia postępowo-konserwatywna, w latach 1995-2003 o profilu neo-konserwatywnym (ekonomicznie neo-liberalnym wg polskiej nomenklatury)].

<sup>3</sup>Partia Liberalna – Liberal Party [of Ontario] – partia centrowa  
*Uwaga: partie na szczeblu prowincji są niezależne organizacyjnie od partii federalnych*

Dariusz Witold Kulczyński, P. Eng.  
Emerytowany inżynier EJ Darlington,  
Kanada

### Literatura:

- [1] Pickering NGS <https://www.opg.com/generating-power/nuclear/stations/pickering-nuclear/Pages/pickering-nuclear.aspx> (data dostępu październik 2018)
- [2] Pickering NGS Licence renewal <https://www.opg.com/generating-power/nuclear/stations/pickering-nuclear/Pages/pickering-nuclear-licence-renewal.aspx> (data dostępu październik 2018)
- [3] Pickering NGS continued operation <https://www.opg.com/generating-power/nuclear/stations/pickering-nuclear/Pages/continued-operations.aspx> (data dostępu październik 2018)
- [4] PNGS Data Units 1-4, 5-8 (OPG publication, PNGS Info Centre)
- [5] A.J. Muzumdar and D.A. Meneley, “Large LOCA Margins in CANDU Reactors -- an Overview of the COG Report”, Proceedings of CNS 30th Annual Conference, Calgary, AB, 2009 May 31-June 3.
- [6] The Monitor, Society of Energy Professionals, 2003 Vol. 29 No 1 [North American Electricity Market]
- [7] The Monitor, Society of Energy Professionals, 2003 Vol 29, No 2 [Blackout]
- [8] Ontario Long Term Energy Plan: “Toward Evidence-based Planning”, Long-term Energy Plan Submission, Society of Energy Professionals, September 16, 2013
- [9] Ontario Long Term Energy Plan EBR Registry 011-9490 Comment ID 1599974
- [10] NAOP [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/29/050/29050472.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/29/050/29050472.pdf) (data dostępu październik 2018)
- [11] Bruce NGS <https://www.brucepower.com/about-us/history/> (data dostępu październik 2018)
- [12] Bruce NGS CNSC <https://nuclearsafety.gc.ca/eng/reactors/power-plants/nuclear-facilities/bruce-nuclear-generating-station/index.cfm> (data dostępu październik 2018)